



DEUTSCHES
PATENTAMT

21 Aktenzeichen: P 43 14 301.6-33
22 Anmeld tag: 30. 4. 93
43 Offenlegungstag: —
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 5. 5. 94

(1)

DE 43 14 301 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:

IMM Institut für Mikrotechnik GmbH, 55129 Mainz,
DE

74 Vertreter:

Fuchs, J., Dipl.-Ing. Dr.-Ing. B.Com.; Luderschmidt,
W., Dipl.-Chem. Dr.phil.nat.; Mehler, K., Dipl.-Phys.
Dr.rer.nat.; Weiß, C., Dipl.-Ing.Univ., Pat.-Anwälte,
65189 Wiesbaden

72 Erfinder:

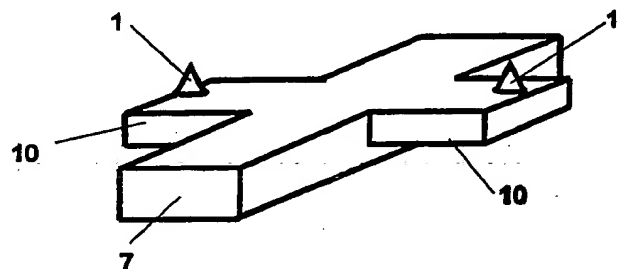
Ruf, Alexander, Dipl.-Phys., 55128 Mainz, DE;
Abraham, Michael, Dipl.-Ing. Dr., 55129 Mainz, DE;
Dietrich, Thomas R., Dipl.-Chem. Dr., 65936
Frankfurt, DE; Lacher, Manfred, Dipl.-Phys., 55116
Mainz, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

EP 4 13 040 A1
GB-Buch: Dror Sarid »Scanning Force Microscopy,
Oxford University Press. 1991;
US-Z.: J. Vac. Sci. Technol A, Bd. 8, 1990, S. 3386-96
u. S. 429-433;
US-Z.: Rev. Sci. Instr., Bd. 63, 1992, S.3330-32;

54 Abtastvorrichtung zur Untersuchung von Oberflächenstrukturen mit Auflösung im submicron-Bereich und
Verfahren zu deren Herstellung

57 Es wird eine Abtastvorrichtung beschrieben, die sich in
der Massenfertigung herstellen läßt und deren Sensorspitze
sich durch große Stabilität, große Länge und großes Aspekt-
verhältnis auszeichnet. Zumindest die Sensorspitze (1) be-
steht aus photostrukturierbarem Glas. Es können auch der
Mikroskopbalken und das Halteelement einstückig aus photo-
strukturierbarem Glas hergestellt werden. Bei der Herstel-
lung wird von einem Plättchen aus strukturierbarem Glas mit
einer Dicke größer oder gleich L einer Sensorspitze ausge-
gangen und anschließend eine Photostrukturierung und ein
Ätzvorgang angeschlossen, wobei die Ätzrate auf das
gewünschte Aspektverhältnis der fertigen Sensorspitze ein-
gestellt wird.



DE 43 14 301 C 1

Die Erfindung betrifft eine Abtastvorrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie ein Verfahren zur Herstellung solcher Abtastvorrichtungen.

Derartige Abtastvorrichtungen werden für die Abtastung und Untersuchung von Oberflächen mit Auflösung im submicron-Bereich eingesetzt.

Hierzu zählt u. a. die Rasterkraftmikroskopie (AFM), die zu den empfindlichsten Arten der Oberflächenprofilometrie zählt (Dror Sarid "Scanning Force Microscopy", Oxford University Press 1991). Die Rasterkraftmikroskopie gestattet es, atomare Korugationen von Festkörperoberflächen abzubilden. Die zentrale Komponente des Abtastsystems ist der Kraftmikroskopbalken, der aus einem Federbalken besteht, der auf der einen Seite an einem Halteelement fest eingespannt ist und am anderen freien Ende eine senkrecht zur Balkenachse angeordnete Sensorspitze trägt, mit der die Oberfläche abgetastet wird. Die dabei auftretenden Auslenkungen des Kraftmikroskopbalkens werden mit geeigneten Methoden nachgewiesen.

Hierzu zählen optische Methoden wie das Lichtzeigerprinzip und das interferometrische Prinzip. Die Kraftmikroskopbalken müssen eine kleine Federkonstante aufweisen, damit bei gegebener Kraft eine maximale Auslenkung erzielt wird. Dabei wird im Kontakt zur Probenoberfläche gearbeitet. Für die Abbildung atomarer Korugationen sind Auflagekräfte in der Größenordnung von 10^{-8} bis 10^{-10} N erforderlich. Daraus ergeben sich Federkonstanten in der Größenordnung von 0,01 bis 1 N/m. Andererseits soll der Kraftmikroskopbalken eine hohe Resonanzfrequenz (einige kHz) aufweisen, damit das System möglichst wenig durch äußere Störungen beeinflusst wird und eine schnelle Regelung möglich wird. Diese Anforderungen werden nur durch sehr kleine Kraftmikroskopbalken erfüllt. Die heute kommerziell erhältlichen Kraftmikroskopbalken werden mit mikromechanischen Methoden hergestellt. Diese Balken eignen sich sehr gut für die Abtastung relativ ebener Probenoberflächen.

Eine andere Art der Kraftmikroskopie nutzt anziehende Kräfte aus, z. B. van der Waals- oder magnetische Kräfte. Die Sensorspitze befindet sich dabei nicht mehr in direktem Kontakt mit der Probenoberfläche. Die Messung des Oberflächenprofils erfolgt nach folgendem Prinzip:

Der Kraftmikroskopbalken wird in Resonanzschwingungen versetzt und durch die Wechselwirkung mit der Probe verschiebt sich die Resonanzfrequenz. Der Nachweis erfolgt mit der Lock-in Technik. Für die Anwendung dieser "non contact"-Technik benötigt man Kraftmikroskopbalken, die eine hohe Resonanzfrequenz aufweisen, da die Auflösung mit der Resonanzfrequenz steigt. Weiterhin wird die Auflösung wegen des großen Arbeitsabstandes wesentlich durch die Form der Spitzen bestimmt.

Als Kraftmikroskopbalken sind solche aus Siliziumnitrid mit integrierten pyramidalen Spitzen bekannt, die mit Hilfe mikromechanischer Verfahren hergestellt werden. Die Sensorspitze entsteht durch Abscheidung von Siliziumnitrid auf (100)-Silizium, in dem vorher durch anisotropes Ätzen eine pyramidale Vertiefung erzeugt wurde (R. Albrecht, S. Akamine, T.E. Carver, C. Quate, "Microfabrication of cantilever styli for the atomic force microscopy", J. Vac. Sci. Technol. A 8(4) (1990) 3386). Die Sensorspitze hat jedoch nur ein Aspektverhältnis von ca. 1 : 1. Diese Sensoren eignen

sich sehr gut für die Abbildung von schwach korrigierten Proben. Besonders auf dem Feld technischer Oberflächen hat man es jedoch mit rauen, stark zerklüfteten Oberflächen zu tun. Bei der Untersuchung derart rauer Oberflächen entstehen beim Abtasten starke Artefakte, weil die Spitze dann nicht in tiefe Gräben eintauchen kann, wodurch das Ergebnis der Untersuchung verfälscht wird.

Zudem sind diese Kraftmikroskopbalken wegen ihrer Form und ihres geringen Aspektverhältnisses für die "non-contact Technik" ungeeignet.

Aus diesen Gründen wurden Siliziumbalken mit ultradünnen Spitzen entwickelt (EP 0413040 A1). Bei diesem Verfahren werden die Spitzen ebenso wie die Balken aus einem Siliziumstück durch Anwendung von Naß- und Trockenätzverfahren gefertigt. Die Sensorspitze besitzt ein höheres Aspektverhältnis, das bei ca. 3 : 1 liegt. Die Länge der Spitze ist jedoch auf ca. 20 µm begrenzt, so daß tiefere Strukturen ebenfalls nicht untersucht werden können. Ein wichtiges Anwendungsfeld dieser Siliziumbalken ist auch die "non-contact" Kraftmikroskopie. Dazu werden die Spitzen im Hinblick auf eine höhere Resonanzfrequenz dimensioniert.

Wesentlich schlankere Sensorspitzen im Labormaßstab wurden durch Elektronenstrahl-Abscheidungstechnik (EBD-tips) erzeugt (Y. Akima, E. Nishimura, A. Sakai "Scanning tunneling microscopy for measuring surface topography", J. Vac. Sci. Technol. A (1)(1990) 429). Dabei wird in einem Rasterelektronenmikroskop mit dem Elektronenstrahl in einer geeigneten Atmosphäre eine lange nadelförmige Spitze am Ende des Kraftmikroskopbalkens erzeugt. Dieses Verfahren hat jedoch den Nachteil, daß die Sensorspitzen sehr spröde sind und beim Abtasten tiefer Strukturen abbrechen können. Weiterhin ist der Herstellungsprozeß nicht für die Massenfertigung geeignet.

Sensorspitzen auf der Basis von ZnO-Whiskern (H. Kado, K. Yokoyama, T. Tohda "Atomic force microscopy using ZnO whisker tip", Rev. Sci. Instrum. 63(6) (1992), 3330) sind ebenfalls bekannt. Auch dieses Verfahren ist nicht für eine Massenfertigung geeignet, da die Whisker nach der Züchtung einzeln auf die vorgefertigten Balken geklebt werden müssen.

Aufgabe der Erfindung ist daher eine Abtastvorrichtung zur Untersuchung von Oberflächenstrukturen der eingangs genannten Art so auszubilden, daß die Sensorspitze ein hohes Aspektverhältnis besitzt und daher zum Abtasten zerklüfteter Strukturen und tiefer Gräben geeignet ist und eine große Stabilität aufweist, wobei die Abtastvorrichtung auch für die Massenproduktion geeignet sein soll. Es ist auch Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung einer solchen Abtastvorrichtung bereitzustellen.

Diese Aufgabe wird mit einer Abtastvorrichtung gemäß Anspruch 1 gelöst. Gegenstand des Verfahrens ist der Patentanspruch 10. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

Es hat sich herausgestellt, daß Sensorspitzen aus photostrukturierbarem Glas sich durch außerordentlich hohe Stabilität auszeichnen. Dies erleichtert einerseits die Handhabung solcher Sensorspitzen, da bei der Aufbewahrung und beim Einbau der Sensorspitzen keine besonderen Vorsichtsmaßnahmen ergriffen werden müssen. Beim Abtasten stark zerklüfteter Oberflächen brechen die Sensorspitzen weitaus seltener ab, als dies bei den Sensorspitzen gemäß dem Stand der Technik der Fall ist. Insofern ist auch die Lebensdauer der Sensorspitzen entsprechend größer.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß die Sensorspitzen dünner und länger ausgebildet werden können als die bekannten Sensorspitzen, wobei dies nicht zu Lasten der Stabilität der Sensorspitze geht. Die Länge der Sensorspitze kann bis zu 500 µm betragen, wobei das Aspektverhältnis bei bis zu 10 : 1 liegen kann. Es ist dadurch möglich, auch Strukturen mit großen und eng ausgebildeten Vertiefungen mit einer entsprechend großen Auflösung zu untersuchen, ohne daß eine Beschädigung der Sensorspitze auftritt.

Bei der Verwendung von Sensorspitzen aus photostrukturierbarem Glas hat es sich als vorteilhaft herausgestellt, wenn nicht nur die Sensorspitze sondern zumindest auch der Mikroskopbalken ebenfalls aus photostrukturierbarem Glas besteht. Vorzugsweise ist die Sensorspitze und der Mikroskopbalken einstückig ausgebildet.

Ein Mikroskopbalken mit beispielsweise der Länge von 1,5 mm, der Breite 20 µm und der Dicke 20 µm und einem Elastizitätsmodul von $8 \cdot 10^{10}$ N/m² besitzt eine Resonanzfrequenz von 25 kHz sowie eine Federkonstante von 1 N/m. Mit diesen Werten ist der Mikroskopbalken für die Anwendung in der Kraftmikroskopie gut geeignet.

Es ist auch möglich, den Mikroskopbalken aus Siliziumnitrid zu fertigen und somit die vorteilhaften Eigenschaften des Siliziumnitrids mit denen der Sensorspitze aus photostrukturierbarem Glas zu verbinden.

Da der Mikroskopbalken zur Handhabung mit einem entsprechenden Halteelement verbunden ist, was durch Bonden oder Kleben erfolgen kann, ist es insbesondere im Hinblick auf die Herstellung vorteilhaft, wenn auch das Halteelement aus photostrukturierbarem Glas besteht. Vorteilhafterweise sind die Sensorspitze, der Mikroskopbalken und das Halteelement einstückig ausgebildet.

Wenn die Auslenkungen des Mikroskopbalkens mittels optischer Methoden nachgewiesen werden sollen, ist es empfehlenswert, daß die Rückseite des Mikroskopbalkens mit einer reflektierenden Beschichtung versehen ist.

Das Herstellungsverfahren einer solchen Abtastvorrichtung basiert auf der bekannten Bearbeitung photostrukturierbarer Gläser. Zu solchen Gläsern zählt beispielsweise ein Glas, das unter dem Warenzeichen FOTURAN von der Fa. Schott Glaswerke, Mainz hergestellt wird.

Photostrukturierbares Glas wird selektiv mit ultravioletttem Licht, z. B. dem Licht einer Quecksilberhochdrucklampe belichtet, woraufhin im Glas Kristallisationskeime entstehen. Durch einen Temperprozeß kann das Glas um diese Keime herum auskristallisieren, so daß die belichteten und auskristallisierten Bereiche schneller geätzt werden können als die unbelichteten.

Aufgrund des unterschiedlichen Ätzverhaltens der belichteten und unbelichteten Bereiche kann das hohe Aspektverhältnis der fertigen Sensorspitze erzeugt werden. Die Ätzrate kann auch durch die Dauer der Belichtung sowie die Konzentration des Ätzmittels beeinflusst werden, so daß verschiedene Aspektverhältnisse bis zu 20 : 1 eingestellt werden können.

Sensorspitzen aus photostrukturierbarem Glas haben den Vorteil, daß sie auch in der optischen Nahfeldmikroskopie eingesetzt werden können. Dafür ist die Transparenz und die gute optische Qualität der Oberfläche der Spitze erforderlich. Das wird dadurch gewährleistet, daß der Bereich der Spitze bei der Belichtung abgeschattet ist und deshalb beim Tempern nicht auskristallisiert

und dadurch die Spitze eintrübt und die Oberfläche aufrauht. Die optische Strahlung wird in der Spitze durch Ausnutzung des Effekts der Totalreflexion wie in einem Wellenleiter bis an das Ende der Spitze geführt und tritt dort über das evaneszente Feld mit der Probensoberfläche in Wechselwirkung. Die Sensorspitze kann auch in einem kombinierten Kraftmikroskop/optischen Nahfeldmikroskop als Sensorspitze benutzt werden.

Es wird von einem Plättchen aus photostrukturierbarem Glas ausgegangen, dessen Dicke zumindest größer als die Länge der auszubildenden Sensorspitze ist. Das Plättchen wird mit geeigneten Masken, die rund oder rechteckig ausgebildet sein können, je nachdem, ob man kegelstumpfförmige oder pyramidenförmige Sensorspitzen erhalten will, an vorgegebenen Stellen abgedeckt. Anschließend wird das photostrukturierbare Glas in den nicht abgedeckten Bereichen belichtet und das gesamte photostrukturierbare Glas getempert. Der belichtete Bereich wird anschließend geätzt, wobei zumindest die Sensorspitze bzw. die Sensorspitzen ausgebildet werden. Da die Spitzen alleine nicht leicht handhabbar sind, wird man vorzugsweise das Plättchen vor der Photostrukturierung auf einem geeigneten Substrat befestigen.

Es ist daher vorteilhaft, anstelle des Substrates so gleich den Mikroskopbalken vorzusehen, der auch in den Fertigungsprozeß einbezogen werden kann.

Wenn auch der Mikroskopbalken, an dessen Ende die Sensorspitze vorgesehen ist, aus photostrukturierbarem Glas hergestellt wird, wird zunächst das Plättchen mit einem geeigneten Halteelement, wie es in Kraftmikroskopen Verwendung findet, derart verbunden, daß das Plättchen gegenüber dem Halteelement mindestens um die Länge eines auszubildenden Mikroskopbalkens vorsteht. Es ist damit möglich, in diesem vorstehenden Bereich einen oder mehrere Mikroskopbalken auszubilden, wobei durch Photostrukturierung, Tempern und Ätzen der Mikroskopbalken zunächst mit der gewünschten Breite in diesem frei liegenden Bereich des Plättchens hergestellt wird. An diesen als erste Strukturierung bezeichneten Verfahrensschritt schließt sich dann die Ausbildung der Sensorspitze an, die ebenfalls durch Photostrukturierung, Tempern und Ätzen durchgeführt wird, wobei auch gleichzeitig die Balkenhöhe entsprechend ausgebildet wird. Dieser Vorgang wird als zweite Strukturierung bezeichnet.

Das Plättchen wird mit dem Halteelement vor der Photostrukturierung vorzugsweise durch Bonden oder Kleben verbunden.

Je nach Größe des Glasplättchens können gleichzeitig mehrere Balken mit gleicher oder unterschiedlicher Geometrie gefertigt werden. Es wird daher vorzugsweise ein Halteelement mit vorgegebenen Trennlinien verwendet, so daß nach Abschluß der Photostrukturierung das Halteelement mit den daran ausgebildeten Mikroskopbalken und Sensorspitzen in mehrere Abtastvorrichtungen aufgetrennt werden kann.

Die Massenfertigung kann weiter vereinfacht und beschleunigt werden, wenn auf das Verbinden des Halteelementes mit dem Plättchen aus photostrukturierbarem Glas verzichtet werden kann. Dafür ist die monolithische Herstellung von Halteelement, Mikroskopbalken und Sensorspitze vorgesehen. Hierzu wird ein Plättchen aus photostrukturierbarem Glas mit einer Dicke größer oder gleich der Dicke des Halteelementes plus Sensorspitze verwendet, wobei durch Photostrukturierung, Tempern und Ätzen zunächst der oder die Mikroskopbalken hergestellt werden. In einem weiteren Ver-

fahrendsschritt wird nach Abdecken des Halteelementes der Ätzvorgang fortgeführt, wobei dieser lediglich auf den Mikroskopbalken beschränkt wird, dessen Höhe und Breite durch den Ätzvorgang verringert wird. In einem letzten Verfahrensschritt wird dann wie bereits beschrieben, durch Photostrukturierung, Tempern und Ätzen die Sensorspitze am freien Ende des Mikroskopbalkens ausgebildet. Hierbei wird auch gleichzeitig die Dicke der Balken und des Halteelementes verringert.

Auch bei dieser Herstellung ist es möglich, große Halteelemente mit einer entsprechend großen Anzahl von Mikroskopbalken gleichzeitig zu fertigen, wobei nach Beendigung der Photostrukturierung die Halteelemente durch geeignete Verfahren vorzugsweise zwischen den Mikroskopbalken durchtrennt werden.

Der Ätzschritt zur Verringerung von Höhe und Breite des Mikroskopbalkens verläuft wesentlich langsamer als im belichteten und getemperten Glas. Dieser Vorgang hat jedoch den Vorteil, daß die so erzeugte spätere Rückseite der Balken sehr glatt wird, was im Hinblick auf die optische Qualität des Mikroskopbalkens von Bedeutung ist.

Wenn für bestimmte Anwendungszwecke der Mikroskopbalken aus Siliziumnitrid, SiO_2 oder SiC gefertigt werden soll, wird ein Plättchen aus photostrukturierbarem Glas zunächst auf einer Seite mit einer Siliziumnitridschicht in Form eines oder mehrerer Balken versehen, die die Dicke des gewünschten Mikroskopbalkens aufweist. Da die Dicke des Mikroskopbalkens mit der Federkonstante in Beziehung steht, kann durch die Dicke der Abscheidung diese Federkonstante eingestellt werden. Danach wird auf die freie Fläche der Siliziumnitridschicht das Halteelement aufgebracht, das aus beliebigen Materialien bestehen kann. Durch Photostrukturierung, Tempern und Ätzen wird dann in einem letzten Verfahrensschritt von der der Siliziumnitridschicht abgewandten Seite des Glasplättchens die Sensorspitze gefertigt. Der Ätzvorgang wird solange fortgeführt, bis die Siliziumnitridschicht erreicht ist. Diese wirkt dabei als Ätzstop, so daß automatisch der Siliziumnitridbalken mit der Glasspitze übrigbleibt.

Nach Abschluß der Fertigung von Balken und Spitzen sowie ggfs. des Halteelementes kann sich noch ein weiterer Verfahrensschritt anschließen, in dem die Rückseite des Mikroskopbalkens mit einer reflektierenden Beschichtung versehen wird.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1a—1c die Verfahrensschritte zur Herstellung von Sensorspitzen,

Fig. 2 die Draufsicht auf das in Fig. 1a gezeigte Plättchen aus photostrukturierbarem Glas,

Fig. 3a—3e Verfahrensschritte zur Herstellung von Mikroskopbalken und Sensorspitzen aus photostrukturierbarem Glas,

Fig. 4a—4e Verfahrensschritte zur monolithischen Herstellung von Halteelement, Mikroskopbalken und Sensorspitze und

Fig. 5a und 5b Verfahrensschritte zur Herstellung einer Abtastvorrichtung mit einem Mikroskopbalken aus Siliziumnitrid.

In der Fig. 1 ist auf einem Substrat 3 ein Plättchen aus photostrukturierbarem Glas 2 aufgebracht, das an vorgegebenen Stellen mit Strukturen 4a und 4b auf einer Maske abgedeckt ist. Wie in der Draufsicht der Fig. 2 zu sehen ist, können diese Maskenstrukturen rund (4c, 4d) oder rechteckig, insbesondere quadratisch (4a, 4b) sein.

Nach dem Abdecken des photostrukturierbaren Glases wird die Belichtung beispielsweise mittels UV-Licht einer Quecksilberdampfampe vorgenommen, was durch die eingezeichneten Pfeile verdeutlicht wird.

In der Fig. 1b sind die belichteten Bereiche 5 und die unbelichteten Bereiche 6 dargestellt, die anschließend dem Ätzvorgang unterworfen werden. Durch Einstellung der Ätzrate lassen sich in den unbelichteten Bereichen 6 gezielt die Sensorspitzen 1 mit einem gewünschten Aspektverhältnis L/D herstellen.

Im nachfolgenden Beispiel wird ein typisches Verfahren zur Herstellung einer Sensorspitze beschrieben.

Zuerst wird das auf ein Substrat aufgebrachte photostrukturierbare Glas durch eine Chrommaske mit UV-Licht belichtet. Dabei sind die Stellen, aus denen später die Spitzen gefertigt werden sollen durch Chrom-Strukturen auf der Maske abgeschattet. Die belichteten Flächen kristallisieren in einer mehrstündigen Wärmebehandlung bei etwa 600°C aus. Bei dem nachfolgenden Ätzprozeß in verdünnter Flußsäure werden diese kristallisierten Bereiche herausgelöst.

Bei einem Ätzratenverhältnis zwischen unbestrahlten und bestrahlten Bereichen von z. B. 1 : 20 können Spitzen mit einem Aspektverhältnis (s. Fig. 1c) von $D/L = 1/10$ erreicht werden. Die absolute Länge L der Spitze hängt dabei von der Dicke des Glases und der Größe der Strukturen auf der Maske ab. Für eine Länge von $300\text{ }\mu\text{m}$ muß die Dicke des Glases $> 300\text{ }\mu\text{m}$ und die Maskierung eine Breite oder Durchmesser von $30\text{ }\mu\text{m}$ haben.

In den Fig. 3a bis 3e werden die einzelnen Verfahrensschritte zur Herstellung einer Abtastvorrichtung mit Mikroskopbalken und Sensorspitze aus photostrukturierbarem Glas dargestellt. Zunächst wird auf einem Plättchen aus photostrukturierbarem Glas 2 ein Halteelement 7 durch Bonden oder Kleben befestigt. Wie in der Fig. 3a dargestellt ist, steht das Plättchen gegenüber der Halterung 7 auf beiden Seiten um einen bestimmten Betrag vor, der z. B. der Länge der auszubildenden Mikroskopbalken entspricht.

In der Fig. 3b ist die Draufsicht der in der Fig. 3a gezeigten Anordnung dargestellt, wobei auf der Oberseite des Glasplättchens 2 in der gegenüber dem Halteelement vorstehenden Bereichen Maskenstrukturen 9a und 9b auf die Oberfläche projiziert werden, deren Breite der Breite der auszubildenden Mikroskopbalken entspricht. In der hier gezeigten Ausführungsform werden insgesamt sechs Mikroskopbalken hergestellt, wobei unterschiedliche Breiten durch die Wahl der Maskenstrukturen 9a und 9b gefertigt werden können. Das Halteelement 7 besitzt mehrere Trennlinien 8, an denen nach Beendigung der Herstellung das Halteelement 7 durchtrennt werden kann, so daß insgesamt drei Abtastvorrichtungen erhalten werden.

Nach der Belichtung, Temperung und dem Ätzvorgang liegen sechs Mikroskopbalken 10 vor, wie in der Fig. 3c dargestellt ist. Halterung und Mikroskopbalken werden danach gedreht, so daß die Mikroskopbalken 10 mit ihrer Rückseite frei liegen, wo über den freien Enden der Mikroskopbalken 10 Maskenstrukturen 4a und 4b positioniert werden. Dies ist in Fig. 3d dargestellt, die einen Schnitt durch Balken 10 und Halteelement 7 längs der Linie A-A in Fig. 3c zeigt. Im Bereich dieser Maskenstrukturen sollen die Sensorspitzen ausgebildet werden. Nach Belichtung, Temperung und Ätzvorgang werden die Sensorspitzen 1 ausgebildet (s. Fig. 3e), wobei gleichzeitig eine Verringerung der Dicke der Mikroskopbalken 10 vorgenommen wird. Dementsprechend

ist der Ätzvorgang zeitlich gezielt zu steuern. Auf den Mikroskopbalken 10 ist zusätzlich noch eine reflektierende Beschichtung 15 aufgebracht, die auch gleichzeitig beim Ätzen der Spitze die Rückseite des Mikroskopbalkens schützt.

Die monolithische Herstellung von Halteelement, Mikroskopbalken und Sensorspitze ist in den Fig. 4a bis 4e dargestellt. In perspektivischer Darstellung ist in der Fig. 4a ein Plättchen 2 aus photostrukturierbarem Glas zu sehen, über dessen Oberseite eine kreuzförmige Maskenstruktur 11 aufgebracht ist. Nach Belichtung, Temperung und Ätzvorgang liegt die in Fig. 4b perspektivisch dargestellte Struktur vor, wobei das Mittelteil als Halteelement 7 dienen soll und die beiden Ansätze 12a bzw. 12b Vorstufen der noch auszubildenden Mikroskopbalken darstellen.

Diese Struktur wird, wie in der Fig. 4c dargestellt, von oben vollständig und von unten im Bereich des Halteelementes 7 unter Benutzung einer geeigneten Maske mit Schichten 13a, 13b abgedeckt. Das kann z. B. mit einem Photolack oder durch Beschichtung mit Siliziumnitrid geschehen. Die so präparierte Struktur wird dann ohne vorherige Belichtung isotrop geätzt, bis die gewünschte Dicke für die Herstellung des Balkens und der Spitze verbleibt. In der Fig. 4b wird dies durch die Abmessungen H₂ und B₂ des Ansatzes 12b verdeutlicht. Bei diesem isotropen Ätzprozeß wird gleichzeitig erreicht, daß die Rückseite des Ansatzes 12b und damit des späteren Balkens glatt bleibt, was für die Gewährleistung einer spiegelnden Reflexion für den Laserstrahl in einem Kraftmikroskop von entscheidender Bedeutung ist.

In einem weiteren Schritt werden die Spitzen und gleichzeitig die endgültige Geometrie der Balken erzeugt. Dazu wird die Rückseite der Struktur ganzflächig, z. B. durch Beschichtung 13b mit Siliziumnitrid (Fig. 4d) passiviert. Die Vorderseite wird nur an den Stellen der künftigen Spitzen durch Positionierung einer Maske mit den Strukturen 4a und 4b abgeschattet. Nach Belichtung, Temperung und Ätzen entsteht die gewünschte Form der Spitzen 1 und der Balken 10, was in Fig. 4e dargestellt ist. Bei diesem Vorgang sind nicht nur die Höhe H₂ der Ansätze 12b sondern auch die Stärke des Halteelementes 7 verringert und auf das gewünschte Endmaß gebracht. Die Ausmaße der Struktur in Fig. 4b (H₁ und B₁) müssen so bemessen werden, daß nach Abschluß der Ätzprozesse die gewünschten Endmaße entstehen.

In den Fig. 5a und 5b wird die Fertigung einer Abtastvorrichtung mit einem Siliziumnitridbalken beschrieben. Zunächst wird auf ein Plättchen 2 aus photostrukturierbarem Glas eine Siliziumnitridschicht 10 aufgebracht, deren Dicke dem späteren Mikroskopbalken 10 entspricht. Die laterale Strukturierung erfolgt mit bekannten Verfahren, z. B. durch Photolithographie und Trockenätzen. Auf der Unterseite der Siliziumnitridschicht 10 wird das Halteelement 7 aufgebracht und anschließend im Bereich, wo die Sensorspitze 1 ausgebildet werden soll, eine Maske aufgelegt und die Belichtung und Temperung sowie der anschließende Ätzvorgang durchgeführt. Es liegt dann eine Abtastvorrichtung mit einem Siliziumnitridbalken vor, wie in der Fig. 5b gezeigt ist. Bei diesem Hybridsystem werden die bekannten guten mechanischen Eigenschaften solcher Siliziumnitridbalken genutzt und gleichzeitig wesentlich schlankere und längere Spitzen erzeugt als in der Siliziumnitridtechnik möglich ist. Die Dicke solcher Siliziumnitridbalken liegt typischerweise bei 0,3 bis 1 µm.

Bezugszeichen

- 1 Sensorspitze
- 2 Plättchen aus photostrukturierbarem Glas
- 3 Substrat
- 4a, 4b, 4c, 4d Maskenstrukturen
- 5 belichteter Bereich
- 6 unbelichteter Bereich
- 7 Halteelement
- 8 Trennlinien
- 9a, 9b Maskenstrukturen
- 10 Mikroskopbalken
- 11 Maskenstrukturen
- 12a, 12b Ansätze
- 13 Lackbeschichtung
- 14 Siliziumnitridbeschichtung
- 15 reflektierende Beschichtung
- 16 Rückseite

Patentansprüche

1. Abtastvorrichtung zur Untersuchung von Oberflächenstrukturen mit Auflösung im submicron-Bereich mit einer auf einem Trägerelement befindlichen Sensorspitze, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens die Sensorspitze (1) aus photostrukturierbarem Glas besteht.
2. Abtastvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensorspitze (1) ein Aspektverhältnis von 20 : 1 bei einer Länge L von bis zu 500 µm aufweist.
3. Abtastvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, für die Kraftmikroskopie mit mindestens einem Mikroskopbalken als Trägerelement, der an mindestens einem Ende eine senkrecht zur Balkenachse angeordnete Sensorspitze trägt und der mit einem Halteelement verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, daß der Mikroskopbalken (10) ebenfalls aus photostrukturierbarem Glas besteht.
4. Abtastvorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensorspitze (1) und der Mikroskopbalken (10) einstückig ausgebildet sind.
5. Abtastvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2 für die Kraftmikroskopie mit mindestens einem Mikroskopbalken als Trägerelement, der an mindestens einem Ende eine senkrecht zur Balkenachse angeordnete Sensorspitze trägt und mit einem Halteelement verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, daß der Mikroskopbalken (10) aus Siliziumnitrid, SiO₂ oder SiC besteht.
6. Abtastvorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Halteelement (7) durch Bonden oder Kleben am Mikroskopbalken (10) befestigt ist.
7. Abtastvorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Halteelement (7) aus photostrukturierbarem Glas besteht.
8. Abtastvorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensorspitze (1), der Mikroskopbalken (10) und das Halteelement (7) einstückig ausgebildet sind.
9. Abtastvorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Mikroskopbalken (10) mindestens auf seiner Rückseite mit einer reflektierenden Beschichtung (15) versehen ist.
10. Verfahren zur Herstellung einer Abtastvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet,

daß ein Plättchen aus photostrukturierbarem Glas mit einer Dicke größer oder gleich der Länge L einer Sensorspitze verwendet wird,
 daß das photostrukturierbare Glas mittels mindestens einer Maske an mindestens einem vorgegebenen Oberflächenbereich, wo die Sensorspitze ausgebildet werden soll, abgedeckt wird,
 daß das photostrukturierbare Glas in den nicht abgedeckten Bereichen belichtet und anschließend insgesamt getempert wird, und
 daß der belichtete Bereich zumindest unter Ausbildung der Sensorspitze geätzt wird.
 11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Ätzrate auf das gewünschte Aspektverhältnis der fertigen Sensorspitze eingestellt wird.
 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Plättchen vor der Photostrukturierung mit einem Halteelement derart verbunden wird, daß das Plättchen gegenüber dem Halteelement um mindestens die Länge eines auszubildenden Mikroskopbalkens vorsteht,
 daß durch Photostrukturierung, Tempern und Ätzen der Mikroskopbalken mit der gewünschten Breite in den frei liegenden Bereichen des Plättchens hergestellt wird (erste Strukturierung) und daß dann am freien Ende des Mikroskopbalkens durch Photostrukturierung und Ätzen unter gleichzeitiger Verringerung der Balkenhöhe die Sensorspitze ausgebildet wird (zweite Strukturierung).
 13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Strukturierung ausgehend von der Oberseite und die zweite Strukturierung ausgehend von der Unterseite des Plättchens vorgenommen wird.
 14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Plättchen mit dem Halteelement durch Bonden oder Kleben verbunden wird.
 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß aus einem Plättchen gleichzeitig mehrere Balken mit gleicher oder unterschiedlicher Geometrie gefertigt werden.
 16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß ein Halteelement mit vorgegebenen Trennlinien verwendet wird, die nach Abschluß der Photostrukturierung zur Vereinzelung durchtrennt werden.
 17. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß ein Plättchen aus photostrukturierbarem Glas mit einer Dicke größer oder gleich der Dicke des Halteelementes plus Sensorspitze verwendet wird, daß durch Photostrukturierung, Tempern und Ätzen der Mikroskopbalken mit der gewünschten Breite hergestellt wird,
 daß durch weiteres Ätzen lediglich des Mikroskopbalkens dessen Höhe und Breite verringert werden, und
 daß anschließend durch Photostrukturierung, Tempern und Ätzen die Sensorspitze ausgebildet wird.
 18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Photostrukturierung zur Ausbildung der Sensorspitze von der Rückseite des Mikroskopbalkens erfolgt und daß während des Ätzens die Vorderseite des Mikroskopbalkens abgedeckt ist.

19. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß zunächst auf das Plättchen aus photostrukturierbarem Glas eine Schicht aus Siliziumnitrid, SiO_2 oder SiC in Form eines Mikroskopbalkens hergestellt wird, deren Dicke auf die gewünschte Federkonstante des Mikroskopbalkens abgestimmt ist, daß danach auf diese Schicht das Halteelement aufgebracht wird und daß dann durch Photostrukturierung und Ätzen die Sensorspitze gefertigt wird.
 20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß der Ätzvorgang bis zum Erreichen der Schicht aus Siliziumnitrid, SiO_2 oder SiC durchgeführt wird.
 21. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die von der jeweiligen Ätzung auszunehmenden Oberflächen durch eine Beschichtung wie Photolack oder Siliziumnitrid geschützt werden.
 22. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Rückseite des Mikroskopbalkens mit einer reflektierenden Beschichtung versehen wird.

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

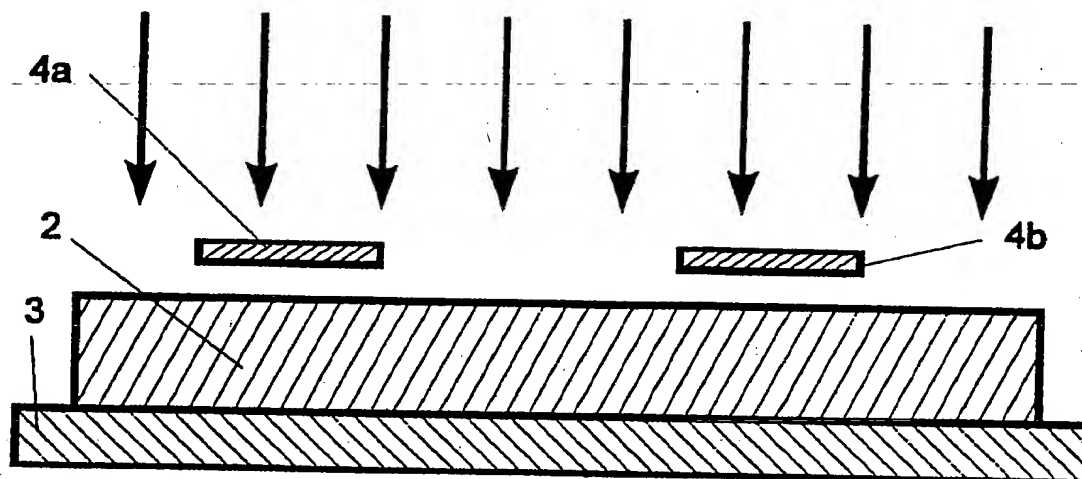


Fig. 1a

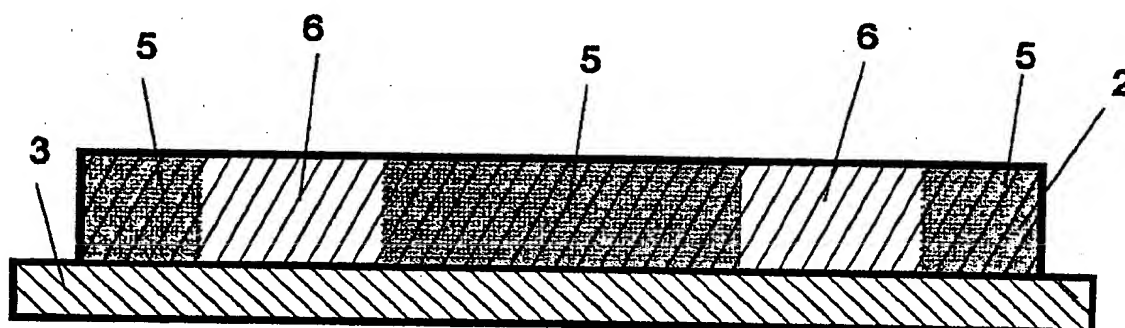


Fig. 1b

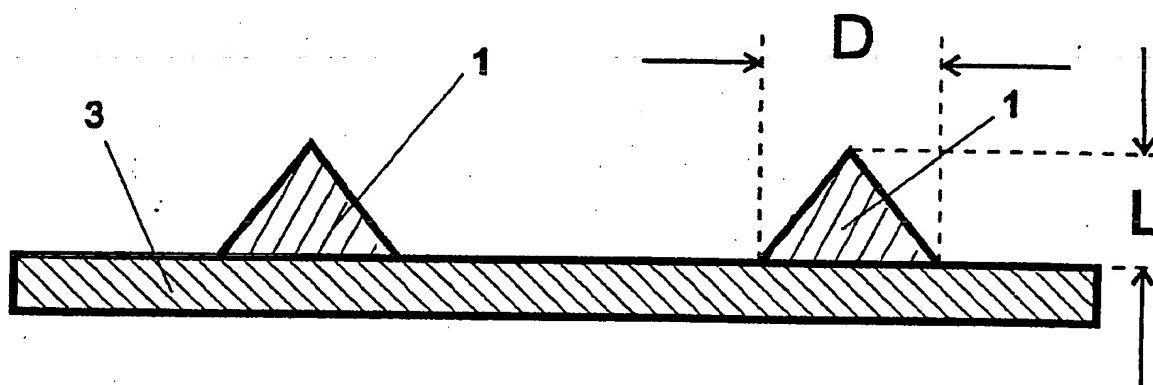


Fig. 1c

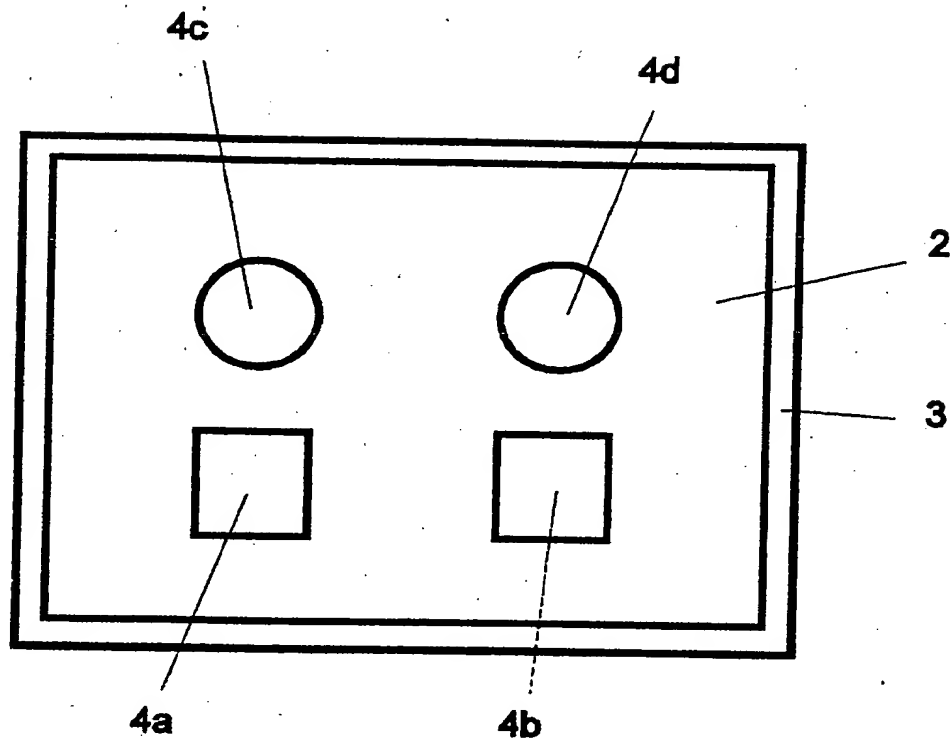


Fig. 2

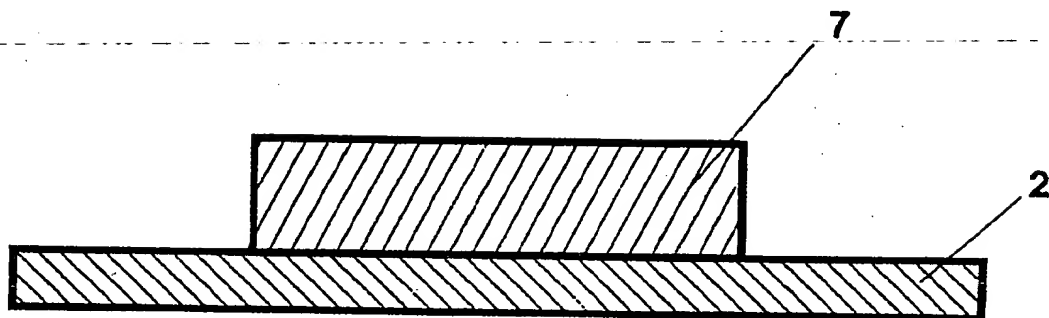


Fig. 3a

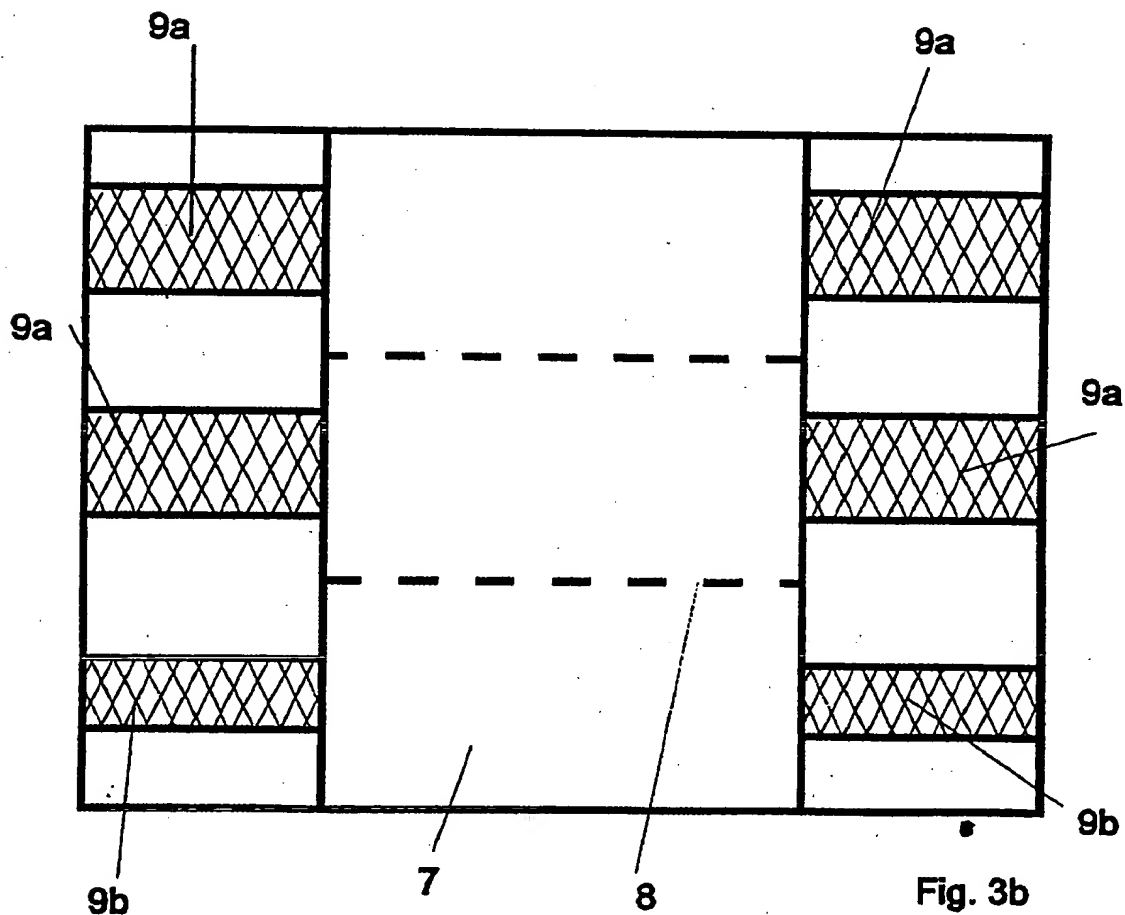
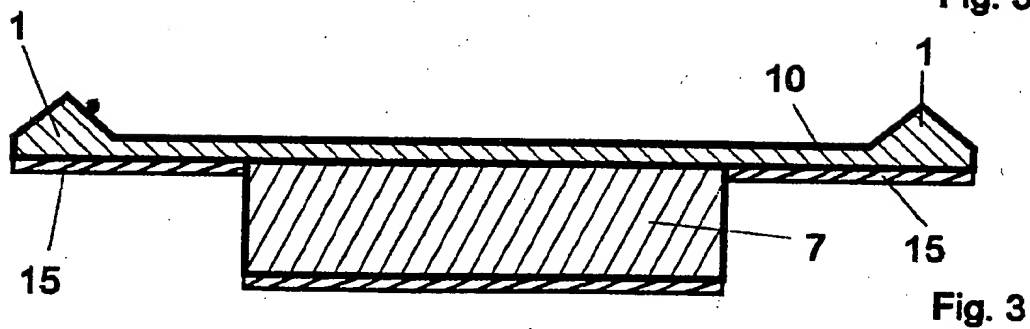
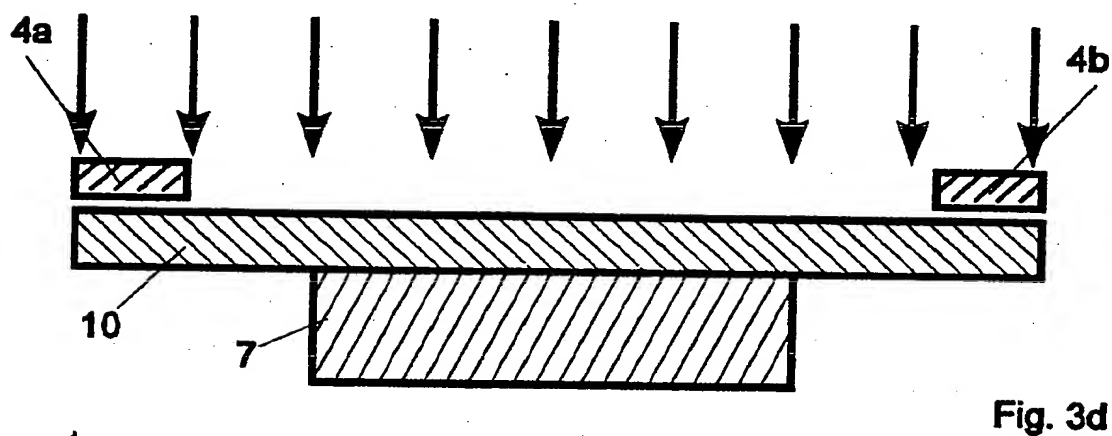
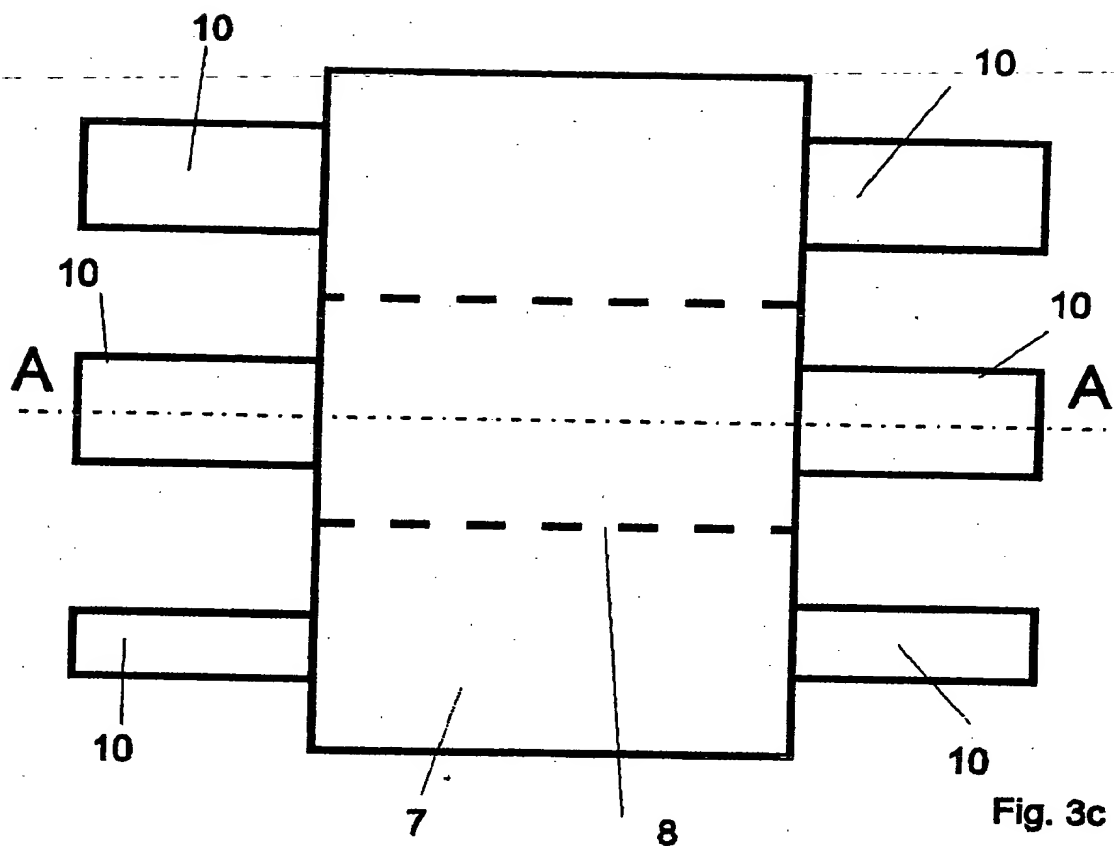


Fig. 3b



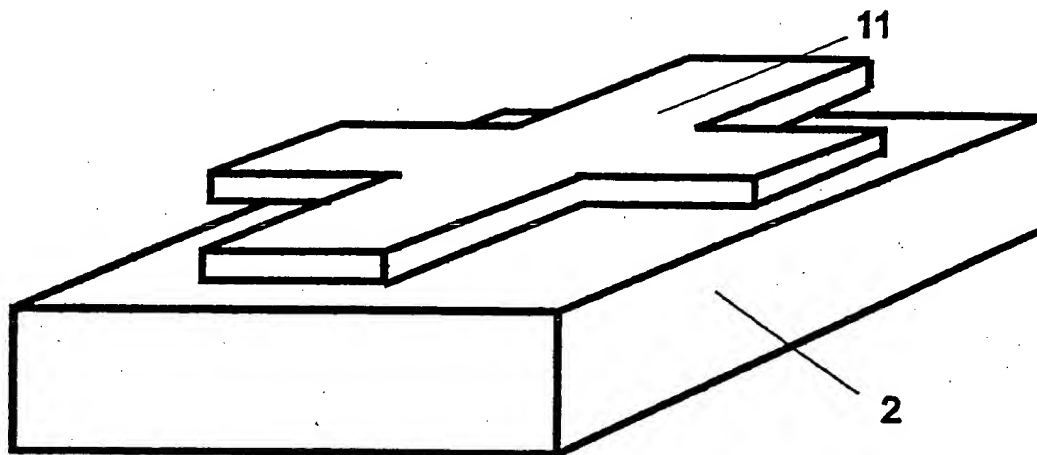


Fig. 4a

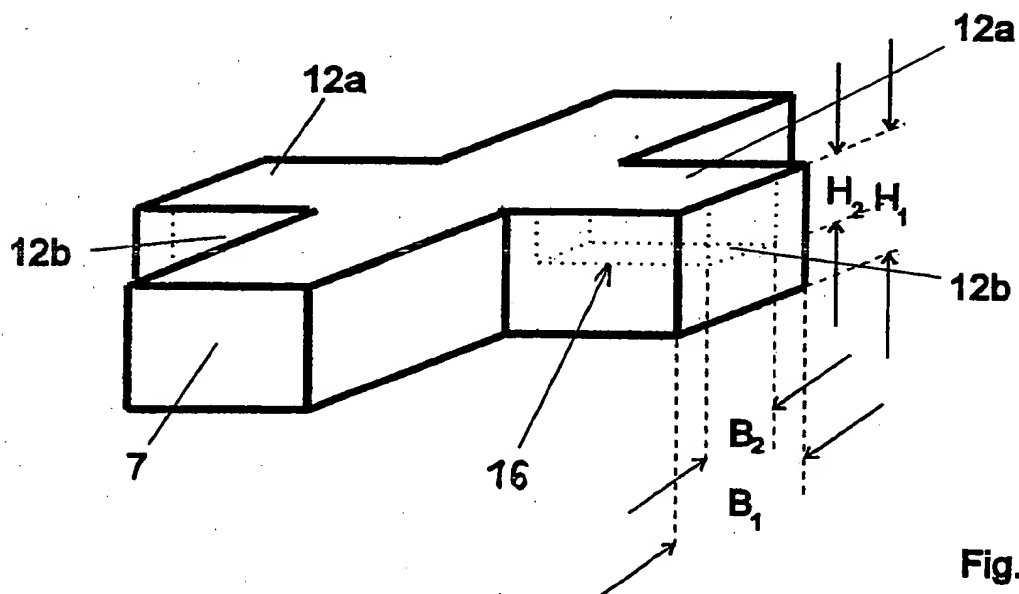


Fig. 4b

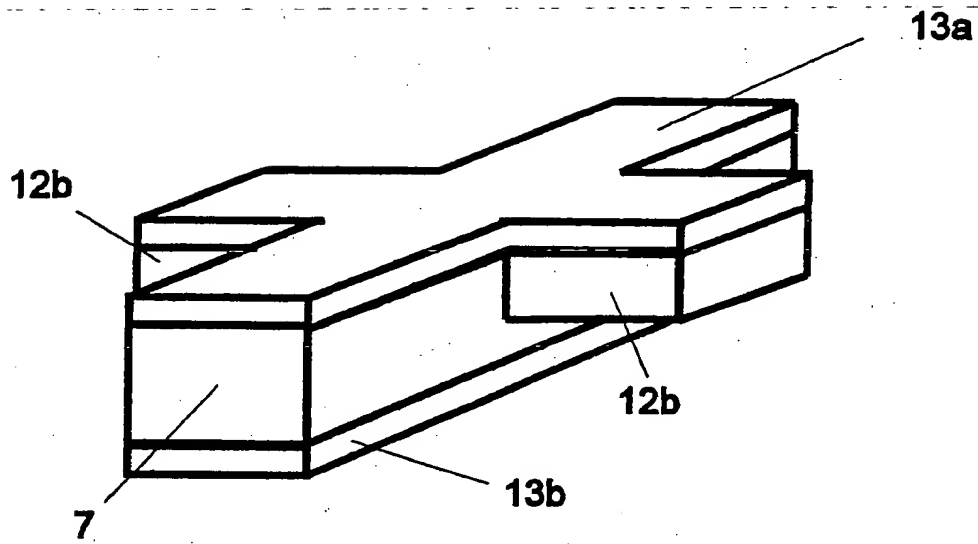


Fig. 4c

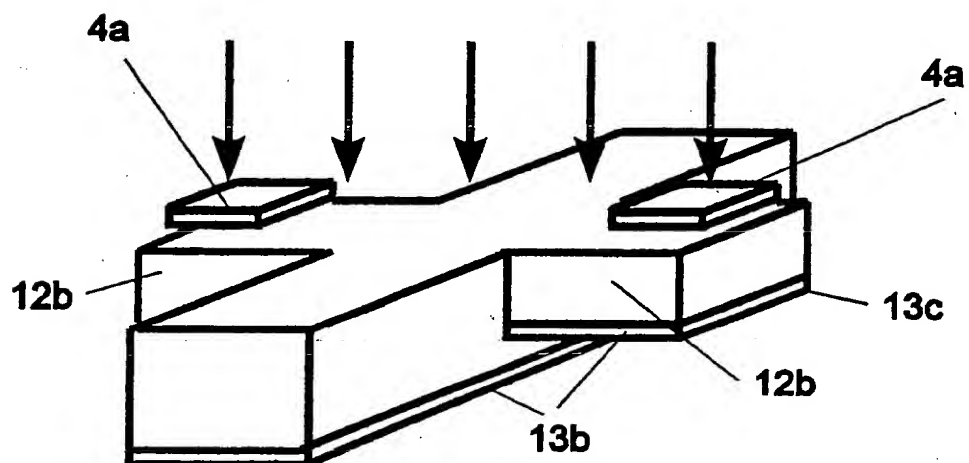


Fig. 4d

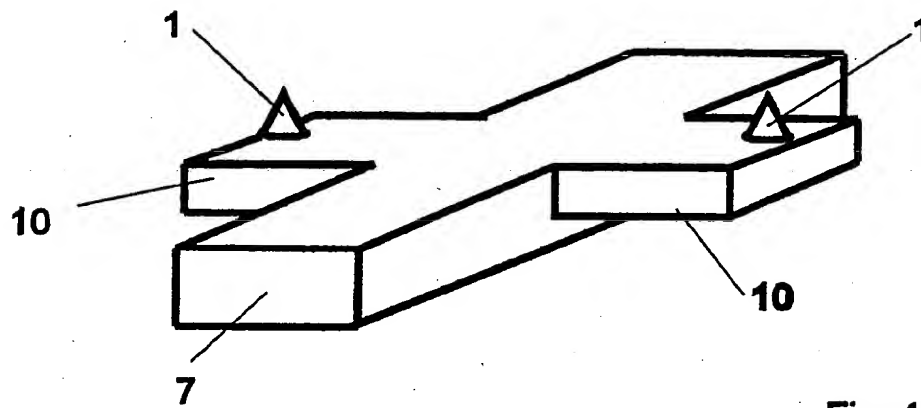


Fig. 4e

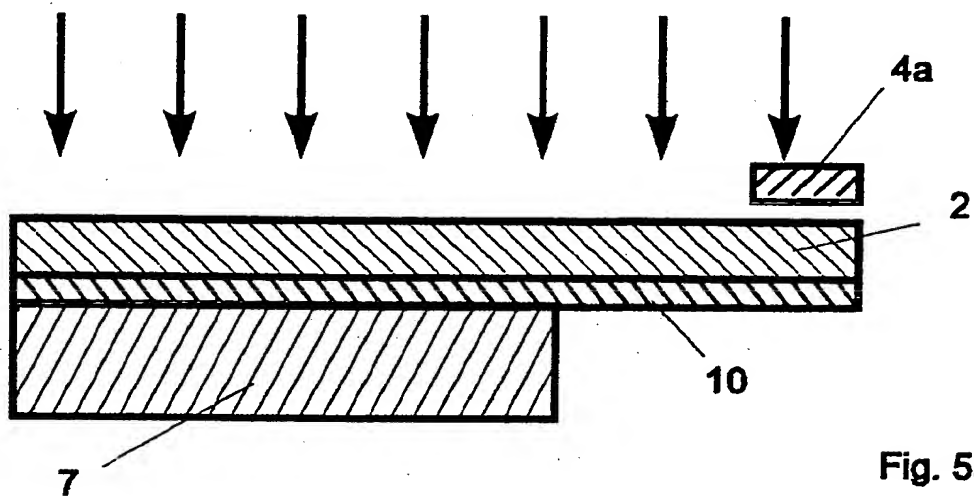


Fig. 5a

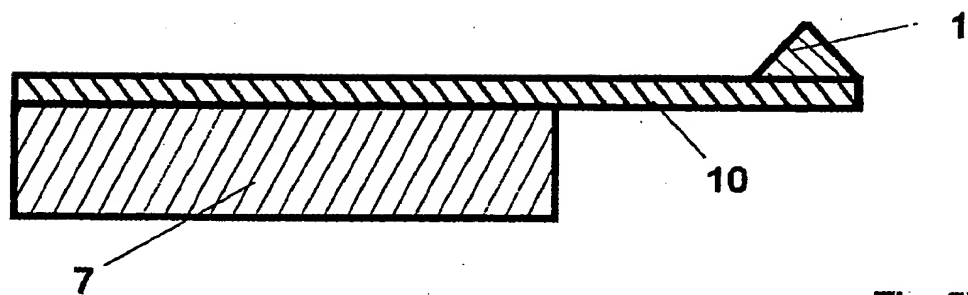


Fig. 5b